ISSN 2186-5647

3-12

RC 床版の劣化予測と補修・補強技術
－凍害・塩害を受けた実橋 RC 床版の劣化損傷評価－

日大生産工　○水口　和彦，阿部　忠，木田　哲量

1. はじめに

近年，国土交通省は地方公共団体で管理する道路橋の老朽化問題に対する対応策として「橋梁長寿命化修繕計画策定事業」を策定し，従来の対処療法的な修繕及び架替えから，予防的な修繕及び長寿命化修繕計画に基づく架替えへと政策転換を図っている。これに伴い，構造物に対する劣化診断手法および補修・補強指針の確立が急務となっている。

道路橋を構成する部材の一つである RC 床版の劣化損傷は，大型車両の繰り返し走行による疲労劣化が主要因であるとされているが，橋梁長寿命化修繕計画における報告によると，海岸線域に建設された道路橋 RC 床版は飛来塩分による鉄筋の発錆によるコンクリートのはく離が生じるなどの損傷が発生している。また，積雪寒冷地域では融雪剤の散布による塩害と冬季間に凍害を受けたことによる RC 床版上面での劣化が著しい等の報告がなされている。これら塩害，凍害を受けた RC 床版はアルカリシリカ反応など，幾つかの要因が複合して劣化を促進させている [1,2,3]。よって，劣化 RC 床版に対して適切な診断を行うことは，その後の補修・補強対策を講じる上で重要となる。とくに，診断後の延命を図るための補修・補強法の選定では，劣化機構に応じた対策を講じることが重要であり，各公共団体が示す橋梁点検要領には，詳細な調査手法を示す必要がある。

そこで本報告では, RC 床版の劣化度診断における新たな調査手法として，小径コア採取による劣化診断の妥当性および塩分濃度測定における EPMA 測定の有効性の評価に関して，建設後約 35 年が経過した岩手県宮古市の実橋 RC 床版から採取した各コンクリートコアを用いて各種の劣化診断を行い，その有用性を評価することで, RC 床版における劣化診断手法確立の一助とするものである。

２．積雪寒冷地域の実橋 RC 床版の損傷状況

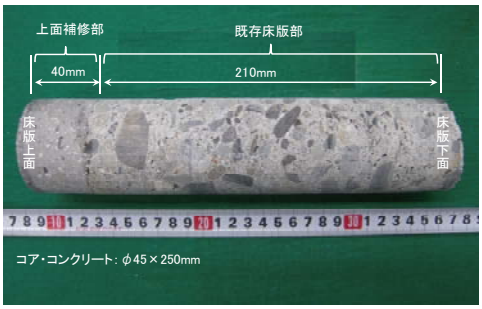
積雪寒冷地域に建設された RC 床版は，大型車両の走行による疲労劣化に加え，床版表面から供給される塩化物イオンにより鉄筋の発錆や，凍結融解作用よる複合劣化が生じ，コンクリートのスケーリングや砂利化が生じるなど，積雪寒冷地特有の劣化損傷が生じている。ここで，積雪寒冷地域における道路橋 RC 床版の劣化状態を写真－1 に示す。写真－1(1)は，融雪剤の散布による塩害と凍害作用により，地覆付近の路面がスケーリングし，鉄筋が露出している。また，図－1(2)は，走行疲労による格子状のひび割れと塩害・凍害作用により RC 床版底面には遊離石灰が沈着し, 一部がはく離している。次に, 写真－1(3), (4)は橋軸方向の切断面である。写真－1(3)では圧縮鉄筋が塩化物イオンにより錆が発生し，その付近のコンクリートは圧縮鉄筋下まで砂利化している。また，写真－1(4)では鉄筋には発錆と床版厚の 1/2 付近まで砂利化している。この RC 床版は, 1973 年の道路橋示方書・

(1)床版上面のスケーリング　(2)床版下面のひび割れ損傷

(3)床版断面の損傷①　(4)床版断面の損傷②

写真－1　塩害・凍害を受けた RC 床版

Deterioration prediction and technology of repair and reinforced of RC slab
－Evaluation of deterioration damage of RC slab act on salt and frost damage－
Kazuhiko MINAKUCHI, Tadashi ABE and Tetsukazu KIDA



写真－2　コア外観

同解説 [4]（以下，道示とする）に基づいて設計され，1977 年から 2009 年までの 32 年間供用された後，2009 年に取り替えとなった RC 床版である。

以上のように，積雪寒冷地域ではスパイクタイヤの全面禁止（1981 年）に伴い，凍結防止剤や融雪剤の散布が日常的となった。このことから，積雪寒地域の道路橋 RC 床版では，凍結防止剤や融雪剤の蓄積により塩化物イオン濃度が鋼材腐食発生濃度 1.2kg/m^3 を超える床版が急増しているものと考えられる。さらに，塩害・凍害作用により RC 床版の鉄筋には発錆やコンクリートの砂利化など，RC 床版の耐荷力低下に影響を及ぼす劣化損傷が生じる場合が多い。よって，塩害・凍害作用を受けるような地域では RC 床版の劣化診断を適切に行うことが重要である。

３ 実橋 RC 床版の劣化診断

本報告では，劣化診断の新たな調査手法として小径コアによる診断評価を行い，その有効性を検証した。建設後約 35 年経過した岩手県宮古市に架設された橋梁 RC 床版部材の劣化診断について，表層から深さ方向の劣化度分布を把握することを目的とした種々の試験を行った。

3.1 試験方法

試験は，RC 床版より採取した 2 本のコア供試体（φ45×240mm）で行った。コアの外観を**写真**-2 に示す。コア長は約 250mm，上面側（走行面側）40mm は，スケーリングによる損傷が著しかったことから上面補修を施している。本研究では，これらの影響を含めた RC 床版の劣化状態を検証するために，①EPMA による面分析および塩化物イオン濃度分布，②超音波伝播速度，圧縮強度・静弾性係数，より評価を行うこととする。ここで，試験手順を**図**-1，**図**-2 に示す。

(1)EPMAによる分析方法

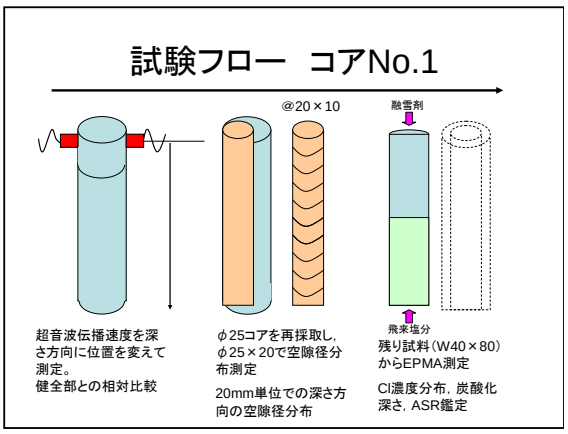


図-1　コア No.1 の試験フロー

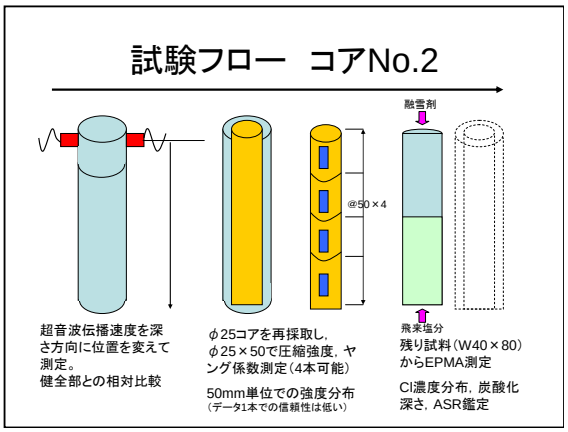


図-2　コア No.2 の試験フロー

塩化物イオンの分析には，電子プローブマイクロアナライザ（Electron Probe Micro Analyzer）を用いた。コア試験体を縦半分に切断し，樹脂で補強した後，切断面を研磨し観察面とした。観察面に導電性を持たせるために炭素を蒸着したものを測定用試料とし，カルシウム（Ca），塩素（Cl），炭素（C），ケイ素（Si），および硫黄（S）を，以下に示す測定条件でピクセル毎に定量した。

加速電圧：15kV，試料電流：1×10^{-7}A，
測定時間：40msec/ピクセル，
分光結晶：PET（Ca，Cl，S），TAP（Si），LDE5H（C）
標準試料：Ca，Si：Wollastonite（CaO=48.0mass%，
SiO_2=50.9mass%），
S：Anhydrite（SO_3=58.8mass%），
Cl：Halite（Cl=60.7mass%），
C：Calcite（CO_2=44.0mass%），
ステージスキャン法
プローブ径：50μm
ピクセルサイズ：100μm×100μm

3.2 試験結果

(1) 超音波伝播速度と圧縮強度

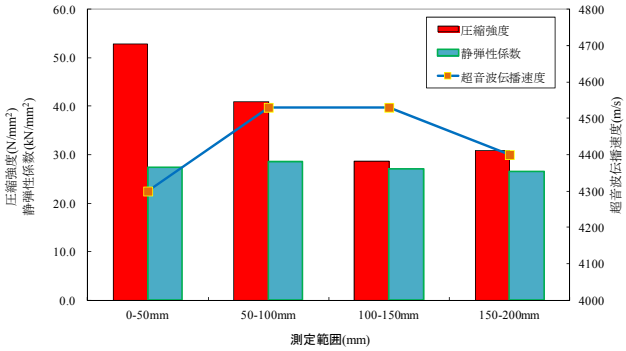
図-3にコアNo.2の表層から深さ方向への超音波伝播速度と，小径（φ25×50mm）コアの圧縮強度・静弾性係数の結果を合わせて示す。

同図より，圧縮強度は，小径コアn=1としたデータであるが，表層～50mmでは53N/mm^2，50～100mmでは41N/mm^{2}で100～200mmでは29～31N/mm^{2}であった。測定範囲50～100mmの既製部では他の既製部に比して圧縮強度が高い傾向にあるが，いずれの測定範囲においても，設計基準強度（21-24N/mm^{2}程度）を十分保持していた。また，超音波伝播速度と圧縮強度との関係は，概ね比例関係の傾向が認められた。

(2) 塩分含有状況

写真-3 にコア No.1 の EPMA による面分析結果を示す。

写真-3 より，Cl 濃度はコア上面側表面から深さ 40mm 付近までは上面補修を施したことから浸透は認められなかった。しかし，補修コンクリートと既製コンクリートとの境界付近に相当する深さ 40mm から 100mm 付近までは浸透が認められ，界面付近の Cl 濃度が最

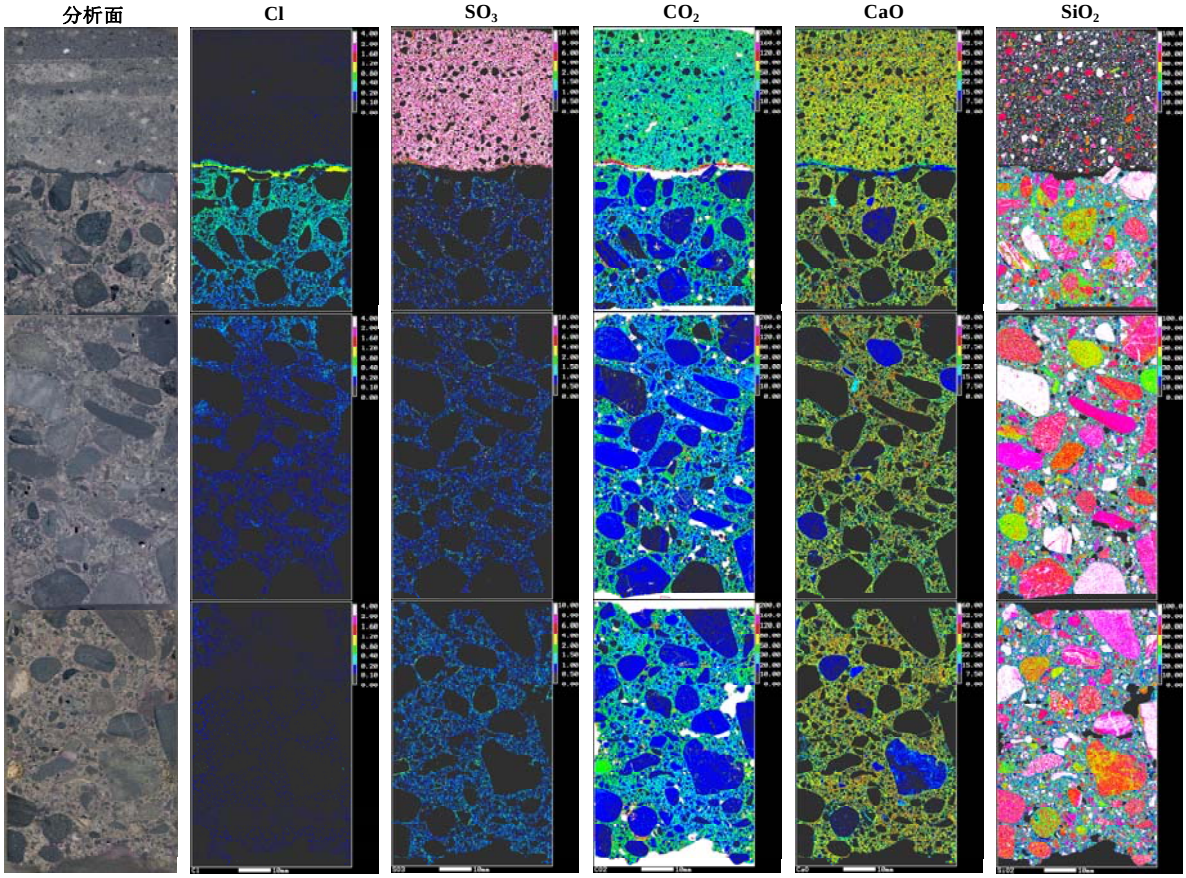


図－3　材料特性試験結果

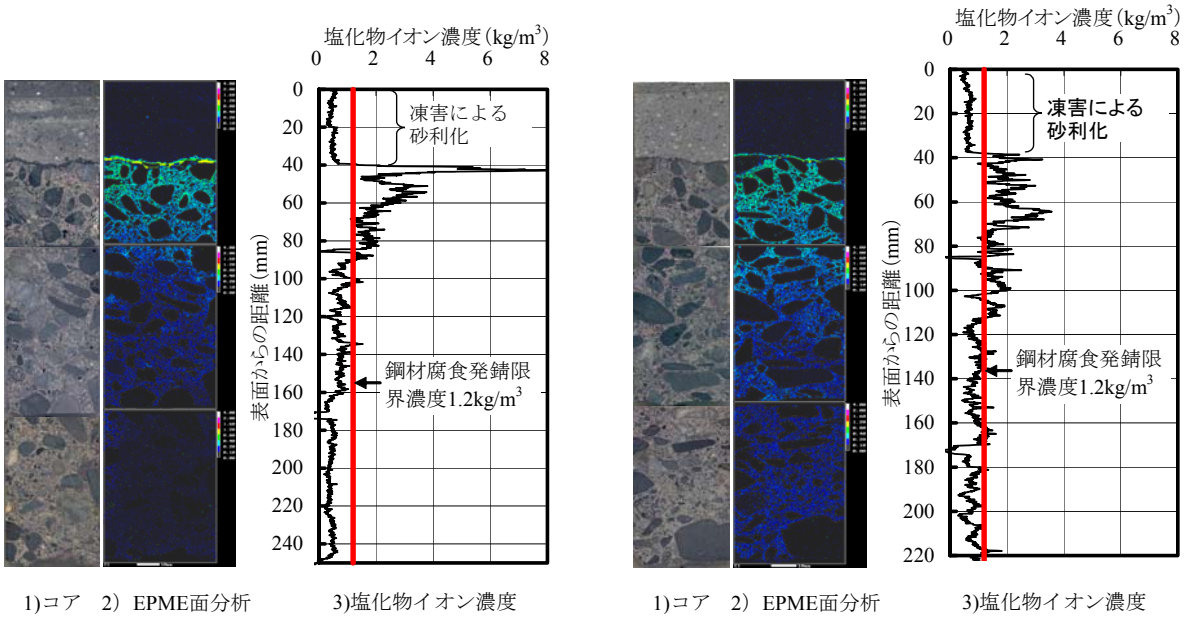
も高い。下面側表面部から 70mm 程度の領域には Cl の浸透はほとんど認められない。また，面側表面部から深さ 10mm 程度までの領域では，Cl 濃度および SO_3 濃度がともに低く，炭酸化領域と思われる。炭酸化領域では，ペースト部の CaO 濃度および SiO_2 濃度もやや低くなっていることが確認できる。

(3) コンクリート中の塩化物イオン量の推定

EPMA 面分析より得たコンクリート骨材込みの深さ方向の平均塩化物イオン濃度（mass%）を用いて，コンクリート単位容積あたりの塩化物イオン濃度（kg/m^3）を式(1)



写真－3　EPMA による面分析



図－4　コンクリート単位容積あたりの塩化物イオン濃度（コア No.1，2）

より算出した。この算出結果を図-4 に示す。なお，コンクリートの乾燥単位容積質量は 2200kg/m^3 とした[5)]。また，図中の赤線は，塩化物イオン濃度 1.2kg/m^3 を示したもので，この値は一般的にコンクリート中の鉄筋が腐食を開始する限界濃度[6)] とされている。

塩化物イオン濃度(kg/m^3)＝
濃度分析値(mass%)/100
×乾燥単位容積質量(kg/m^3)　(1)

図-4 より，コア No.1，2 ともに上面側表面部から 40mm の範囲では，凍害の影響による砂利化に対して上面補修を行ったため，低い濃度を示しているが，コンクリート補修部と既製コンクリートとの界面付近，すなわち床版上面から 40mm～100mm の領域でのイオン濃度が高くなっており，圧縮側鉄筋は腐食が開始している可能性が高いと考えられる。また，コア No.1 では既製コンクリートの下面側では 1.2kg/m^3 を超過する領域がほとんどなく，鉄筋腐食の可能性は低いものと考えられるが，コア No.2 では供試体中央部から下面部において 1.2kg/m^3 を超える領域が所々に確認できることから，局所的に鉄筋腐食が生じている可能性がある。

４. まとめ

本報告では，実橋 RC 床版供試体を用いて床版厚さ方向，すなわち深さ方向の劣化状況を把握することを目的とし，新たな調査手法として小径コアを用いた各種調査を実施した。その結果，次のことが明らかになった。

①深さ方向の圧縮強度の分布は，小径コアを用いることにより 50mm 毎の強度分布を診断することが可能である。

②塩化物イオン濃度は，EPMA による測定を行うことで，断面を連続的に測定することが可能となり，鋼材腐食限界値を超える領域の判別が容易に推測できる。

③小径コア採取による劣化診断の有用性を検証した結果，圧縮強度，超音波伝播時間，EPMA 解析などから，その実用性を明らかにできた。

参考文献：

1)新銀武：積雪寒冷地の塩化物供給を考慮した床版寿命診断に関する研究，鋼構造年次論文報告集，第 13 巻，pp.347-354，2005

2)山下英俊，堺幸司，熊谷政行，喜多達夫：北海道におけるコンクリート構造物の複合劣化に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集，Vol.16，pp. 543-548, 1994.

3)竹田俊明ほか：寒冷地における橋梁の劣化環境と RC 床版の劣化予測に関する研究, 構造工学論文集，Vol.53A，pp.674-685，2007

4)日本道路協会:道路橋示方書･同解説Ⅰ，Ⅱ, 2002.

5)橋梁塩害対策検討委員会：害橋梁維持管理マニュアル(案)，2008

6)日本コンクリート工学協会：コンクリート診断技術，2009